

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій, мехатроніки і робототехніки
Кафедра метрології та інформаційно-виміральної техніки

ВСТУП ДО ФАХУ З МЕТРОЛОГІЇ

Лекція 16

Тема: Методи вимірювань



Лекція 16

Тема: Методи вимірювань

1. Нульовий метод.
2. Метод збігу.
3. Перетворення вимірювальної величини як непрямі вимірювання.
4. Вимірювання методами перетворення.



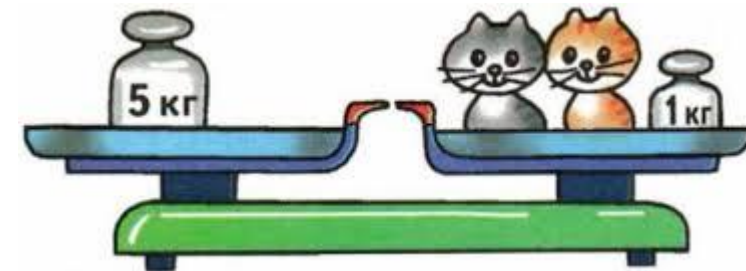
1. Нульовий метод

У розвитку технологій точних вимірів нулевою методом одна із перших. Зважування вантажів на важелях важелів (як рівноплечих. Так і нерівноплечих) – це характерний приклад нульового методу вимірювань.

Загалом нульовий метод полягає в наступному: **Вимірювану величину порівнюють із величиною, значення якої відомо.** *Останню вибирають таким чином, щоб різниця між вимірюваною та відомою величинами дорівнювала нулю.* Збіг значень цих величин відзначають за допомогою нульового покажчика (нуль-індикатора).

При порівнянні нульового та різницевого методів можна знайти між ними щось спільне. Якщо різницевому методі ми вимірюємо різницю між двома величинами, то нульовому ми практично наводимо цю різницю до нуля.

Порівняно з різницевим методом недолік нульового методу полягає в необхідності мати засіб вимірів, що дозволяє відтворити будь-яке значення відомої величини без істотного зниження точності. Найчастіше це бувають заходи змінного значення чи набори (магазини) засобів, у тому числі складаються поєднання, відтворюють величини, рівні вимірюваним. *Класичним прикладом таких заходів є набір гирь.*



Порівняно з різницевим методом **недолік нульового методу** полягає в **необхідності мати засіб вимірів, що дозволяє відтворити будь-яке значення відомої величини без істотного зниження точності**. Найчастіше це бувають заходи змінного значення чи набори (магазини) засобів, у тому числі складаються поєднання, відтворюють величини, рівні вимірюваним. Класичним прикладом таких заходів є набір гирь.

Практично в багатьох випадках метод, що відноситься до нульового, виявляється швидше різницевого. Так, при зважуванні на точних рівноплечих вагах на чашку кладуть гирі в порядку, що відображує значення їх маси. У результаті досягається таке положення коли накладення гирі з найменшою масою змушує стрілку терезів переходити через нуль і відхилиться в іншу від нього. І тут вдаються до методу інтерполяції.

Інтерполяцію у разі можна розглядати, як різницевий метод. За допомогою шкали, покажчика та гирки з найменшим значенням маси ми вимірюємо різницю між вимірюваною масою та сумарною масою гир на іншій чашці.



Однак нульовий метод має і істотну перевагу в порівнянні з різницевою. *При використанні різницевого методу потрібно міра, значення якої близьке до значення вимірюваної величини.* Для вимірювання нульовим методом можна застосовувати засоби, значно менше цієї величини. Наприклад, різних для зважування великих мас гиря 1 кг врівноважується 100; 1000 кг та більше. Досягається це за допомогою нерівноплечих важелів, застосування яких дозволяє значно розширити можливості нульового методу.

Зміна відомої величини, що служить для порівняння, не завжди зручна чи можлива. Тому для здійснення нульового методу надходять у такий спосіб. Використовуючи постійну величину, вимірюють ефект її дії шляхом зміна плеча, до якого вона прикладена. Можна навести такі приклади. Для зважування застосовують безмін, одному плечі якого вміщена гиря. Гиря пересувається вздовж плеча. Чим більший вантаж, що зважується, тим далі від точки опори потрібно відсунути гирю. На плечі нанесена шкала, що вказує на значення врівноваженого вантажу. Аналогічний пристрій мають багато так звані шкільні ваги: від невеликих – поштових та дитячих до великих – автомобільних та вагонних.

Нульовим методом є *компенсаційний метод вимірювання*, що застосовується в основному для вимірювання фізичних явищ, у тих випадках, коли важливо виміряти їх, не порушуючи умов, в яких відбувається явище, що вимірюється.

У принципі компенсаційний метод полягає в тому, що якщо з'єднати об'єкт, в якому відбувається вимірюване явище, з вимірювальним пристроєм, у цьому пристрої створюється аналогічне явище, спрямоване назустріч дії явища, що вимірюється. Регулюючи створене явище, домагаємося повної компенсації дії явища, що вимірюється, на засіб вимірювань. Це може статися тільки в тому випадку, якщо створене нами компенсуюче явище дорівнює вимірюваному. Вимірюючи компенсуюче явище визначаємо щодо нього розмір вимірюваного. У момент компенсації явища, що вимірюється, протікає так, як воно протікає тоді, коли засіб вимірювань до нього не підключено.

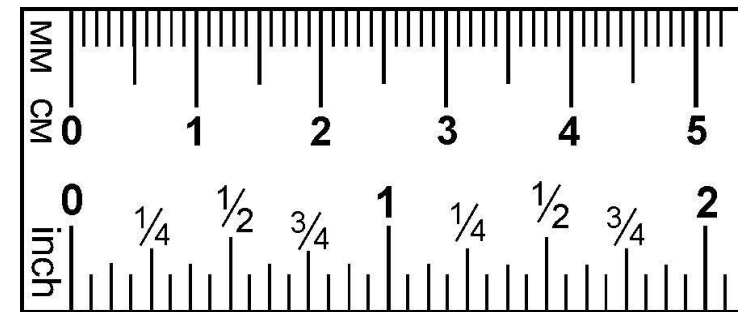
Найбільш характерним прикладом застосування компенсаційного методу є вимірювання електрорушійної сили елементів за відсутності струму.

Компенсаційний метод шляхом деяких ускладнень застосовується для вимірювання фізичних властивостей різних об'єктів, наприклад електричного опору.

2.Метод збігу

Цей метод характеризується використанням збігу позначок шкал чи періодичних сигналів. Прикладемо лінійку з міліметровими поділками до лінійки з дюймовими поділками і сумісний їх нульові позначки, що відповідають 127 мм і 5 дюймам; $254 \text{ мм} = 10 \text{ дюймів}$ і т.д. Звідси можна визначити, що один дюйм = 25,4 мм.

За принципом методу співволодіння побудовано ноніус штангенциркуля та інших приладів. Шкала ноніуса штангенциркуля має десять поділів по 0.9 мм. Коли нульова позначка шкали ноніуса виявиться між відмітками основної шкали штангенциркуля, це означатиме, що до цілої кількості міліметрів слід додати кілька десятих толі міліметра ($x \cdot 0,1$).



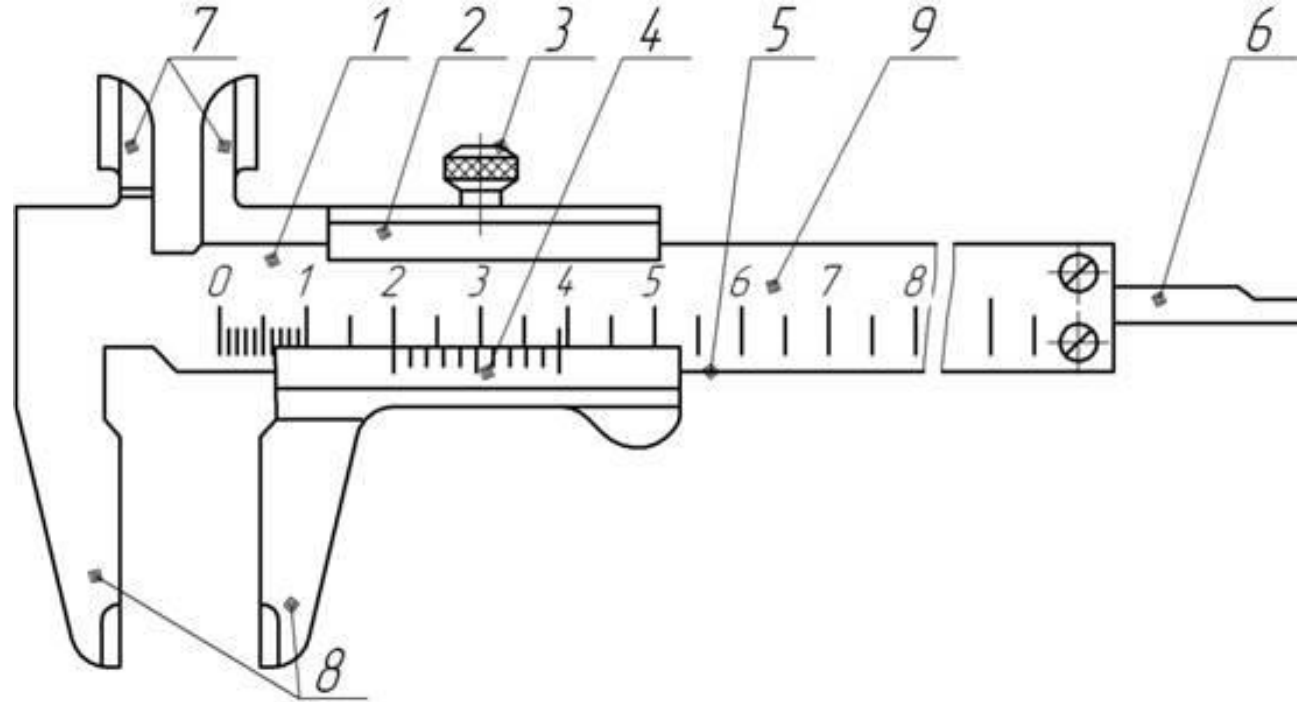


Рис. 16.1. Конструкція та будова штангенциркуля ШЦ-I: 1 – штанга; 2 – рамка; 3 – фіксатор; 4 – ноніус; 5 – робоча поверхня штанги; 6 – глибиномір; 7 – губки з вимірювальними поверхнями кромки для вимірювання внутрішніх розмірів; 8 – губки з плоскими вимірювальними поверхнями для вимірювання зовнішніх розмірів; 9 – шкала штанги

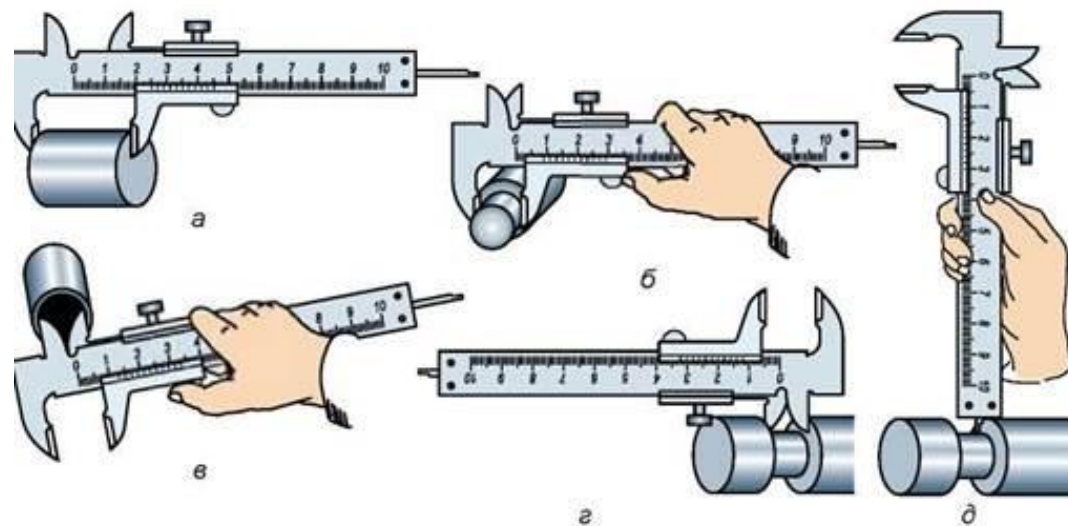
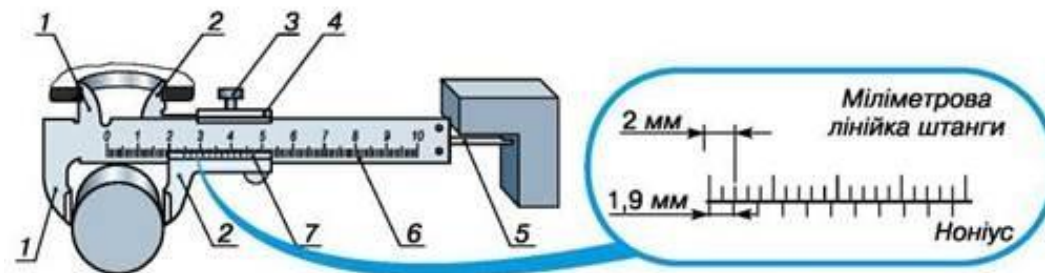


Рис. 16.2. Вимірювання і контроль розмірів деталей штангенциркулем ШЦ-I: а - довжини; б - зовнішнього діаметра; в - внутрішнього діаметра; г - довжини канавки; д - глибини канавки

Явище биття

У радіотехніці для порівняння двох близьких за частотою коливань використовують явище, що отримало назву биття. Амплітуди двох високочастотних коливань при складанні, потім вони перестають збігатися по фазі і через деякий час опиняються в анти фазі. Якщо амплітуди рівні, їх сума стає рівною нулю. Через такий же проміжок часу збігаються і складаються негативні амплітуди і т. д., так утворюються низькочастотні коливання, названі биттям.

Чим менше різниця порівнюваних частот, тим менше частота биття. Так, при додаванні частот 100 і 101 кГц частота биття буде дорівнює 1 кГц. Така частота легко сприймається на слух.

Якщо різниця частот буде дорівнює 10 Гц, то амплітуди будуть збігатися через кожну десятку секунди. Коливання з такою частотою можна відзначати не тільки на екрані осцилоскопа, але навіть по стрілочному електровимірному приладу. Явище биття використовується головним чином для встановлення рівності або різниці двох частот. Змінюючи одну з частот, спостерігають з допомогою телефону або осцилоскопа частоту биття і приводять її до нуля або, визначаючи частоту биття, знаходять різницю між відомими і невідомими частотами.

Інтерференція

Явище інтерференції світла (коливань електромагнітних хвиль) широко використовується для точних вимірювань довжини. Це явище має деяку схожість з явищем биття і в той же час воно має істотну принципову відмінність. Явище биття застосовується для порівняння частот коливань, одержуваних від двох джерел. **Інтерференція спостерігається при взаємодії коливань однієї і тієї ж частоти, але зрушених по фазі.** Теоретично це можуть бути коливання, одержувані від двох джерел.

Практично ж явище інтерференції вдається спостерігати і використовувати для вимірювань тільки при коливаннях, отриманих від одного джерела. Коли коливання двох променів a_1 і a_2 (рис. 16.3) збігаються по фазі, сумарна амплітуда дорівнює сумі їх абсолютних значень, і ми бачимо світлу точку або смугу (рис. 16.3, а). Коли коливання знаходяться в протифазі, тобто їх амплітуди протилежні за знаками, сумарна амплітуда дорівнює різниці цих значень, і ми бачимо темну точку або смугу (рис. 16.3, б).

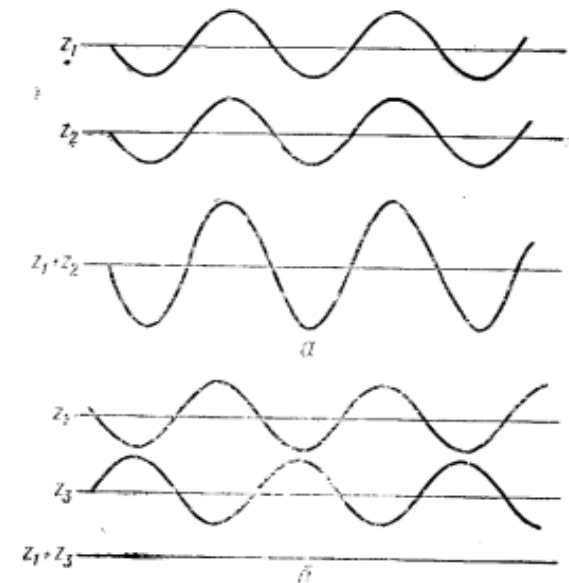


Рис.16.3

Стробоскопічний ефект

До методу збігів відносяться засновані на використанні стробоскопічного ефекту методи вимірювання різних величин, в основному пов'язаних зі швидкістю періодичних процесів : швидкості обертання, частоти коливань, частоти змінного струму і т. п.

Принцип стробоскопічних методів можна пояснити на наступному прикладі. Диск, розділений на два півкола - чорний і білий (рис. 16.4) - обертається з певною кутовою швидкістю, наприклад 1 об/сек.

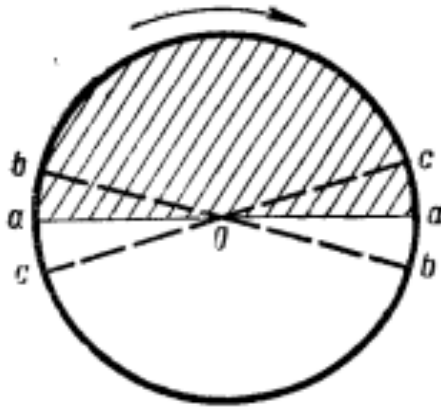


Рис.16.4.Схематичне зображення принципу стробоскопічного методу

Якщо диск висвітлювати спалахами з частотою один раз в секунду, то кожен спалах буде висвітлювати диск в одному і тому ж положенні; диск буде здаватися нерухомим. Якщо кутова швидкість диска дещо збільшиться, то наступний спалах освітить диск, коли він вже пройде початкове положення А-а і його півкола займуть положення b-b. В цілому наступні спалахи будуть висвітлювати диск, зміщений по- до попереднього положення на кут, рівний куту $\alpha\omega t$. В цілому це створить враження повільного обертання малюнка в сторону обертання диска. При кутовій швидкості, меншій 1 об/с, удаване обертання малюнка буде направлено в протилежну сторону. Вимірявши час, за який малюнок зробить один уявний оборот, можна обчислити кутову швидкість диска. Однак при такому пристрою можлива груба Помилка. Справа в тому, що при одній тій же частоті спалахів диск при обертів здаватися стоять на місці. Тому на диску розташовують ряд концентричних кіл (рис.16.5), розділених на різне число поділок. По удаваній зупинці тієї чи іншої фігури і судять про кутову швидкість.

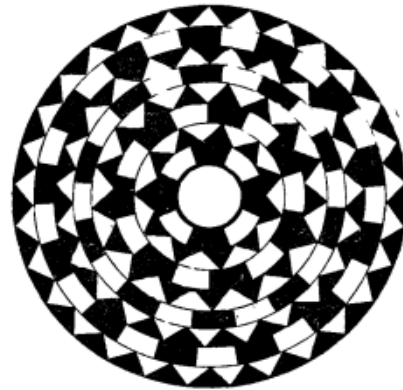


Рис.16.5.Стробоскопичний диск

Якщо жодна фігура не зупиняється, то визначають уявну кутову швидкість фігури, що обертається найбільш повільно, і обчислюють дійсне значення швидкості, зазвичай вибирається велика частота спалаху, в результаті чого значно поліпшуються умови спостереження стробоскопічної картини в зв'язку з інерційністю зору.

При частоті спалахів більше 15 в секунду око перестає відрізняти окремі спалахи, і малюнок здається безперервно освітленим. Стробоскопічним методом можна вимірювати частоту змінного струму, при цьому струмом вимірюваної частоти живлять синхронний двигун, на осі якого насаджений диск, Диск висвітлюють спалахами відомої стабільної частоти. Можна діяти інакше: від джерела вимірюваної частоти живити лампу, що дає спалаху, а струмом відомої частоти-двигун.



3. Перетворення вимірювальної величини як непрямі вимірювання

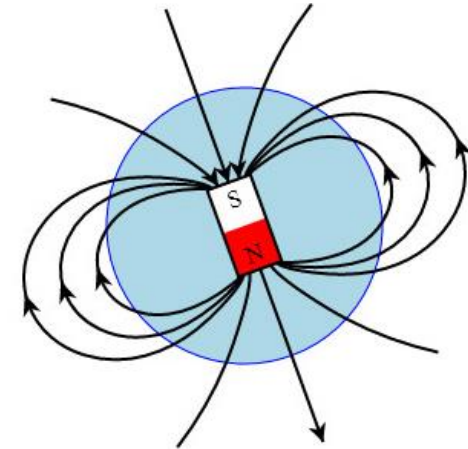
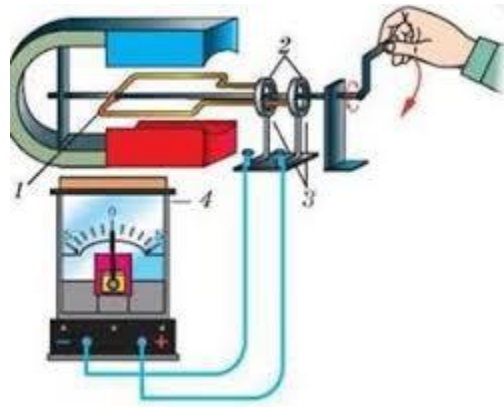
Описані вимірювання слід також віднести до непрямих вимірювань як одну з його різновидів. Різновидом непрямих вимірювань є також випадок знаходження значення вимірюваної величини шляхом прямих вимірювань компонентів відомої формули, що визначає її залежності від цих компонентів. *Цей різновид непрямих вимірювань відноситься до випадку знаходження значення вимірюваної величини по її залежності від інших величин, яка визначається шляхом спільних вимірювань, другий різновид непрямих вимірювань може розглядатися так само, як вимірювання шляхом перетворення вимірюваної величини в іншу, за природою своєю істотно відрізняється від вимірюваної, але пов'язану з нею стійкою залежністю.*

У метрологічній літературі зазвичай при визначенні непрямих вимірювань розглядається тільки перша їх різновид. Вимірювання шляхом перетворення ні до якого виду вимірювань не відносилися. У той же час за своєю природою вони є в повному сенсі слова непрямыми, якщо не розглядати це слово як термін вузького значення.

4. Вимірювання методами перетворення

Перетворення вимірюваних величин в електричні та магнітні

Розвиток електроприладобудування, універсальність електровимірювальних приладів, можливість передачі результатів вимірювань на великі відстані призвели до того, що пряме перетворення вимірюваної величини в переміщення покажчика стали замінювати перетворенням її в електричну величину, вимірювану за допомогою електровимірювального приладу. У ряді випадків цей шлях відкрив можливість підвищення точності вимірювань або вимірювання величин, раніше не піддавалися вимірюванню. Пристрої, що застосовуються для перетворення неелектричних величин в електричні, відносяться до **вимірювальних перетворювачів**.



Розглянемо деякі типові методи і окремі фізичні явища або властивості речовин, що дозволяють перетворювати вимірювані величини в електричні.

1. Нагрівання місця спаю двох електродів з різнорідних матеріалів (спая термопари) викликає появу ЕРС., що дозволяє вимірювати температуру. При цьому може бути досягнута досить висока точність.
2. Нагрівання електричних провідників і напівпровідників викликає зміну їх опору (термометри опору, термістори). Одні матеріали (наприклад, платина) дозволяють отримати високу точність вимірювання температури, інші матеріали (особливо напівпровідники) дають можливість вимірювати дуже малі інтервали температур і температуру тіла дуже малого обсягу, наприклад комах, листя, рослин і т. д.
3. Розтягування або стиснення деяких металів в межах їх пружності викликає зміну їх електричного опору. Це явище дає можливість вимірювати електротензometri і вимірювати Малі деформації тіл і зусилля в умовах, при яких вимірювання іншими методами неможливо, наприклад, деформації різних частин машин під час їх роботи. Це явище дозволяє також вимірювати високі і надвисокі тиску (манганіновий манометр).
4. У граничному шарі між деякими напівпровідниками і металами при його освітленні виникає ЕРС. Це явище називають *фотоелектричним ефектом*. На використанні його засновані фотоелементи, що дають можливість вимірювати світлові величини методом безпосередньої оцінки, а також в ряді випадків виключати необхідність візуального спостереження.

5. Електричний опір деяких напівпровідників під дією світла вельми помітно змінюється. Це явище використовується для виготовлення фотоопору. Застосування фотоопір вимагає стороннього джерела струму, проте фотоопір мають значно більш високою чутливістю, ніж фотоелементи.
6. Залежність яскравості світіння тіла від температури, яка в свою чергу залежить від сили струму, що розжарює піти, дозволяє вимірювати температуру безконтактним методом, наприклад за допомогою оптичного пірометра.
7. На гранях деяких кристалів, коли до двох гранях прикладена сила, що здавлює або розтягує їх, виникає ЕРС. Це явище, зване п'єзоелектричним ефектом, зворотне, тобто, коли до двох гранях прикладено напругу, кристал деформується. П'єзоелектричний ефект, практично без інерційний, отримав широке і різноманітне застосування. Він використовується для вимірювання тиску, вібрації, частоти електричних коливань і т.д. особливе значення цей ефект має для стабілізації частоти високочастотних генераторів. Для цієї мети застосовуються, як правило, кристали кварцу. Так, кварцові годинники, засновані на використанні п'єзоелектричного ефекту в кварці, були до недавнього часу найбільш точними приладами для вимірювання інтервалів часу.
8. Магнітна проникність тіл з феромагнітних матеріалів змінюється в залежності від прикладених до них механічних сил (розтягують, стискають, згинають, скручують). Спостерігається і зворотне явище: в феромагнітному тілі при внесенні його в магнітне поле виникають механічні деформації. Ці явища отримали назву магнітострикції. Магнітне поле, що змінюється при механічному впливі, вимірюється за допомогою котушки, обмотка якої поміщається на феромагнітному сердечнику. Магнітострикційні перетворювачі застосовуються головним чином в техніці вимірювання звукових і ультразвукових коливань.

9. Як відомо, електрична ємність плоского конденсатора виражається формулою:

$$C = \frac{\epsilon S}{d},$$

де C - ємність конденсатора ;

ϵ - діелектрична проникність діелектрика, що знаходиться між обкладинками;

S - площа його обкладок ;

d - відстань між обкладинками.

Зміну електричної ємності використовують для вимірювання малих розмірів та малих переміщень.

Зміну електричної ємності використовують для вимірювання малих розмірів та малих переміщень.

10. Переміщення вимірюють також щодо зміни індуктивності котушки з сердечником з магнітно м'якого матеріалу. Зміна повітряного зазору в осерді викликає зміну індуктивного опору котушки, яке визначають тим чи іншим електричним методом.

11. Існує ще низка способів перетворення показань того чи іншого вимірювального приладу в електричну величину, зручну передачі на відстань, т. д. для вимірювання на відстані. Це нині здійснюються найрізноманітнішими способами. Каналами передачі перетворених показань приладів в сучасному світі є дротовий інтернет, вай-фай, блютуз, інфрачервоний канал передачі, джпс передача, а також є електричні дроти та канали радіозв'язку. Як приклад можна навести гідроелектростанції, насосні станції та інші пристрої нафто-і газопроводів, управління та спостереження за режимом роботи яких виробляються іноді на дуже великих відстанях. Ще більш яскравим прикладом є застосування телевимірювань на космічних кораблях та штучних супутниках Землі та Місяця.

Покази вимірювальних приладів, встановлених на космічних кораблях, передаються радіо. У всіх випадках показання вимірювальних приладів перетворюються на ті чи інші електричні величини, зручні передачі.

Хімотроніка

Електрохімічні перетворювачі (хімотрони) застосовуються для вимірювання різних фізичних велич. У цих перетворювачах використовуються фізико-хімічні явища, що супроводжують протікання електричного струму через рідини, у тому числі процес гальванічного осадження металів, концентраційну поляризацію, електроосмос та ін.

Хімотрони використовуються при вимірюванні тиску, рівня рідини, витрати речовин, температури, вібрацій, швидкості обертання, прискорення і т. п. Вони прості за пристроєм і дуже чутливі, в той же час споживають струм, у 100-1000 разів менший, ніж напівпровідникові прилади, і недорогі. Хімотрони можуть застосовуватися при низьких частотах і постійному струмі, де використання електронних приладів утруднено. Хімотроніка розвивається зараз дуже інтенсивно і знаходить широке та різноманітне застосування завдяки низці глибоких досліджень її теоретичних основ. Але методи електрохімічного перетворення застосовуються давно. Доречно нагадати що протягом досить тривалого часу еталоном одиниці сили електричного струму міжнародного ампера служив Срібний вольтметр. Сила струму визначалася шляхом ділення кількості виділеного при електролізі срібла на його електрохімічний еквівалент і на час, протягом якого проходив струм. За допомогою срібного вольтметра визначалася електрорушійна сила нормальних елементів.